

การวิเคราะห์การใช้พลังงานสำหรับโรงงานผลิตไบโอดีเซล 4 รูปแบบ

Analysis of Energy Usage of Four-pattern Biodiesel Production Plants

วรลักษณ์ อังปนนานนท์* และ ชัยภพ ศิริวรกุล²

Woraluck Aungpananont^{1*} and Chaiyapop Siraworakun²

¹นักศึกษานิเทศศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต-นครนายก(คลองหก) อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

²อาจารย์ที่ปรึกษา สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต-นครนายก(คลองหก) อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

*Corresponding author, E-mail: ningoto@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการวิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงงานผลิตไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างกัน 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดต่าง 2) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดกรด 3) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดต่าง และ 4) การใช้สภาวะยิ่งยวด สภาวะเริ่มต้นในการผลิตจะใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ทำปฏิกิริยากับเมทานอล ที่อัตราส่วน 3 ต่อ 1 โมล ตามลำดับ โดยอัตราการผลิตสำหรับทุกรูปแบบมีค่าเท่ากับ 1,000 กิโลกรัมไบโอดีเซลต่อชั่วโมง ผลการจำลองกระบวนการแสดงให้เห็นถึงการใช้พลังงานเรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก คือ 1) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดต่าง 2) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดต่าง 3) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดกรด และ 4) การใช้สภาวะยิ่งยวด ซึ่งมีค่าเป็น 1,662,756 1,771,873 1,774,146 และ 2,387,586 กิโลจูลต่อชั่วโมง ตามลำดับ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการลดการใช้พลังงานโดยการคิดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งผลการจำลองกระบวนการพบว่า การติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับกระบวนการผลิตแบบสภาวะยิ่งยวดจะลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด มีการใช้พลังงานในการผลิตเป็น 1,371,780 กิโลจูลต่อชั่วโมง กระบวนการผลิตไบโอดีเซลทั้ง 4 รูปแบบนี้ถูกจำลองกระบวนการผลิตโดยใช้โปรแกรม Aspen HYSYS 2006

คำสำคัญ: น้ำมันไบโอดีเซล การจำลองกระบวนการ Aspen HYSYS

Abstract

This research investigated the energy use of the following four production patterns used in biodiesel production plants: 1) homogeneous base catalysis, 2) homogeneous acid catalysis, 3) heterogeneous base catalysis and 4) supercritical fluid conditions. During the simulation the initial ratio of pure palm oil to methanol and the product throughput was kept at 1:3 and 1,000 kg biodiesel /h respectively for all the production patterns. Four-biodiesel production plant patterns were simulated using Aspen HYSYS 2006 commercial software. The results of

the simulation showed that the ascending order of energy usage was 1) homogeneous base catalysis, 2) heterogeneous base catalysis, 3) homogeneous acid catalysis, and 4) supercritical fluid conditions, at 1,662,756 1,771,873 1,774,146 and 2,387,586 kJ/hr, respectively. In addition, this research proposed an energy saving approach utilizing a heat exchanger. The results of the simulation showed that the installation of a heat exchanger at a supercritical plant resulted in the highest energy saving of 1,371,780 kJ/hr.

Keywords: biodiesel, simulation, process Aspen HYSYS

1. บทนำ

การใช้พลังงานในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆทุกปี โดยเฉพาะน้ำมันเชื้อเพลิงมีการใช้มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 48 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ในขณะที่ราคาน้ำมันดิบได้ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งการใช้พลังงานน้ำมันถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติและพลังงานนิวเคลียร์ล้วนส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่ศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งไบโอดีเซลเกิดจากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (transesterification) โดยมีน้ำมันที่ได้จากพืชหรือไขมันสัตว์ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (alcohol) เช่น เมทานอล หรือเอทานอล และมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่าง กรด หรือเอนไซม์ ช่วยในการเร่งให้ทำปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือไบโอดีเซล มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล สามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง และก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศลดน้อยลง นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลยังมีกลิ่นหอมและเป็นผลพลอยได้และเป็นที่ต้องการในอุตสาหกรรมหลายประเภท

มีงานวิจัยที่จำลองการผลิตไบโอดีเซลมาหลาย เช่น Zhang ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากน้ำมันพืชบริสุทธิ์และน้ำมันพืชใช้แล้ว 4 รูปแบบ โดยมีกรดและด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า

กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีความซับซ้อนน้อยกว่าจึงถูกศึกษาในเชิงพาณิชย์ (Zhang at al., 2003) นอกจากนี้การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วและเมทานอลด้วยการใช้สภาวะยิ่งยวดสามารถผลิตให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.8% (Kastern & Nisworn, 2006) และ West ได้เปรียบเทียบการและออกแบบกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจำนวน 4 รูปแบบ ด้วยโปรแกรม HYSYS มีน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบพบว่ากระบวนการผลิตในสภาวะยิ่งยวด มีจำนวนหน่วยปฏิบัติการน้อยที่สุด และกระบวนการผลิตแบบปฏิกิริยาวิวิธพันธ์โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด (West, Posarac & Ellis, 2008) วัตถุดิบที่ใช้ควรหาได้ง่ายในประเทศและมีประสิทธิภาพในการผลิตเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิตได้ (Santanaa, 2009)

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเกี่ยวกับ การจำลองกระบวนการผลิตไบโอดีเซล 4 รูปแบบโดยใช้โปรแกรม Aspen HYSYS 2006 ประกอบด้วยการผลิตโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ที่เป็นกรดและด่าง ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ที่เป็นด่าง และการผลิตในสภาวะยิ่งยวด จากนั้นวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลทั้ง 4 รูปแบบ

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการจำลองกระบวนการผลิตของโรงงานไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มกับเมทานอลด้วย

รูปแบบการผลิต 4 รูปแบบ โดยใช้การจำลองด้วยโปรแกรม Apen HYSYS 2006

2. เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการผลิตไบโอดีเซลทั้ง 4 รูปแบบ

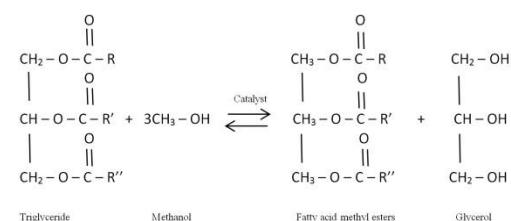
ตารางที่ 1 ค่าสภาวะที่ใช้ในแต่ละหน่วยอุปกรณ์

Unit	Properties	Condition			
		Base	Acid	Hetero g.	Supercritical
Catalyst	Catalyst	NaOH	H2SO4	SrO	N/A
Reactor	Type	CSTR	CSTR	CSTR	CSTR
	Temperature (C)	60	80	60	350
	Pressure (kPa)	101.3	60	101.3	2,000
	Conversion (%)	100	100	100	97.39
Distillation	Reflux ratio	2	2	3.99	3.42
	Number of stages	6	6	14	12
	Condenser Pressure (kPa)	20	101.3	40	101.3
	Reboiler Pressure (kPa)	30	111.0	50	105.3
3-Phase Separator	Temperature (C)	231	223	230	244
	Pressure (kPa)	101.3	101.3	101.3	101.3

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์

การจำลองกระบวนการผลิตไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้ การผลิตใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน วัตถุดิบเป็นน้ำมันปาล์ม (น้ำมันปาล์ม ประกอบด้วย ไตรโกลีอีนและกรดโอเลอิก) ทำปฏิกิริยากับเมทานอล ในถังปฏิกรณ์ มีอัตราส่วนไตรโกลีอีนต่อเมทานอล เป็น 3 ต่อ 1 โมล ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซล และมี กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้จากการผลิต โดยปฏิกิริยา เป็นไปตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอลเพื่อผลิตเมทิลเอสเทอร์

3.2 โปรแกรม Apen HYSYS 2006

การจำลองการผลิตไบโอดีเซลโปรแกรม Apen HYSYS 2006 ถูกใช้เพื่อการศึกษา โดยจำลองที่หน่วยปฏิบัติการและนำมาประกอบกัน ในแต่ละรูปแบบจะมีการใช้ตัวเร่งต่างชนิดกัน และกำหนดค่าสถานะเริ่มต้นทั้ง 4 รูปแบบที่เท่ากัน เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหลเชิงโมล การผลิตเริ่มต้นจากการป้อนไนโตรโอเลอิน กรดโอเลอิก และเมทานอล เข้าทำปฏิกิริยากันในถังปฏิกรณ์ หลังจากนั้นทำการกลั่นแยกเมทานอลที่เหลืออยู่ด้วยหอกลั่นเพื่อทำการรีไซเคิลกลับ และส่งต่อไปยังเครื่องแยก 3 เฟส (3-Phase Separator) เพื่อแยกกลีเซอรอลกับไบโอดีเซลออกจากรัน ค่าสถานะที่ใช้ในแต่ละหน่วยอุปกรณ์อ้างอิงตามงานวิจัย (West, Posarac & Ellis, 2008) ถูกแสดงดังตารางที่ 1 รหัสและรายชื่ออุปกรณ์ ถูกแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รหัสและรายชื่ออุปกรณ์

รหัส	รายชื่ออุปกรณ์
MIX-100 ถึง MIX-101	เครื่องผสม
P-100 ถึง P-104	ปั๊ม
E-100 ถึง E-101	เครื่องทำความร้อน
E-200 ถึง E-204	เครื่องทำความเย็น
CSTR-100	ถังปฏิกรณ์
T-100	หอกลั่น
X-100	เครื่องแยกตัวเร่งปฏิกิริยา
V-100	เครื่องแยก 3 เฟส
HE-100	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

3.3 รูปแบบการผลิตและตัวเร่งปฏิกิริยา

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดต่าง (homogeneous base catalyzed) ในงานวิจัยนี้ตัวเร่งชนิดต่างที่ใช้คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปฏิกิริยาชนิดนี้จะใช้อุณหภูมิและความดันต่ำ นิยมใช้วิธีนี้ในการผลิตมากที่สุด เนื่องจากต้นทุนต่ำ การใช้ค่าในการ

เร่งปฏิกิริยานั้น น้ำมันที่ใช้จะต้องมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำ ไม่เกินร้อยละ 0.5 อ้างอิงค่าจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาจากงานวิจัยของน้ำค้างและจิตรลดา (น้ำค้างคมสัน และจิตรลดา นาคประดิษฐ์, 2555) แผนผังการผลิตแสดงดังรูปที่ 2

2. ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดกรด (homogeneous acid catalyzed) ในงานวิจัยนี้ตัวเร่งชนิดต่างที่ใช้คือ กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) การผลิตด้วยวิธีนี้มีข้อดีคือสามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นและปริมาณกรดไขมันอิสระสูง และข้อเสียคือการกัดกร่อนของกรด ปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้ากว่า และการใช้เมทานอลและพลังงานมากกว่าการใช้ค่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพราะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงในการทำปฏิกิริยาอ้างอิงค่าจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาจากงานวิจัยของปริยาทิและรัตน (ปริยาทิ พิมพิสัย และรัตน เชนลับ, 2555) แผนผังการผลิตแสดงดังรูปที่ 3

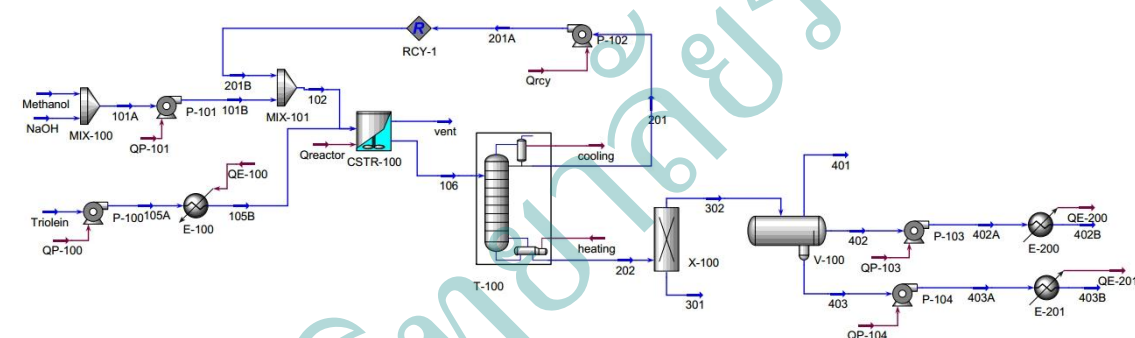
3. ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ (heterogeneous catalysts) ที่เป็นค่า งานวิจัยนี้จะใช้สตรอนเทียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยานี้มีข้อเสียเปรียบเนื่องจากการใช้ตัวเร่งดังกล่าวจำเป็นต้องมีการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้ออกจากผลิตภัณฑ์หลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดลง เพื่อให้ไบโอดีเซลมีคุณภาพที่ต้องการ ส่งผลให้นำตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ที่เป็นของแข็ง (Solid Heterogeneous Catalysts) มาเปลี่ยนแทนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของเหลวจะมีความง่ายในการแยก โดยงานวิจัยนี้จะใช้ไฮโดรไลซิสโคลนในการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ อ้างอิงค่าจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาจากงานวิจัยของณัฐพรและศศิประภา (ณัฐพร เกตุไทย และศศิประภา วัชรบรรณ, 2556) และงานวิจัยของคันธารสและธงไชย (คันธารส จักรดอน และธงไชย ศรีนพ, 2552) มีแผนผังการผลิตดังรูปที่ 4

4. การทำปฏิกิริยาโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ในสถานะวิกฤต (supercritical alcohol) ปฏิกิริยาจะ

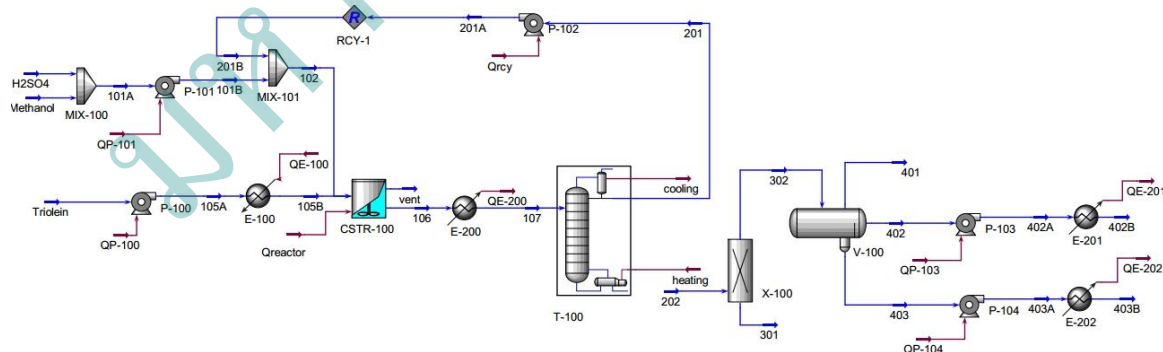
เกิดขึ้นที่อุณหภูมิและความดันสูง แต่เนื่องจากไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จึงลดความยุ่งยากในการในการทำผลิตภัณฑ์ให้มีความบริสุทธิ์ และใช้พลังงานที่สิ้นเปลืองกว่าการผลิตโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยอ้างอิงค่าจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาจากงานวิจัยของปรัชญาพร และจิราลักษณ์ (ปรัชญาพร ลิ้มปรัญญี และจิราลักษณ์ ครอบสิน, 2556) แผนผังการผลิตดังแสดงตามรูปที่ 5

3.4 การประเมินผลทางด้านการใช้พลังงาน

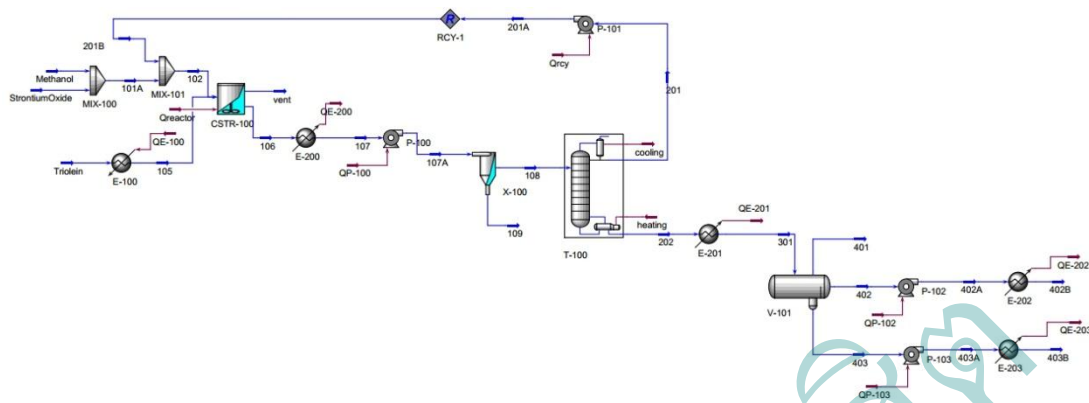
กระบวนการผลิตไบโอดีเซลทั้ง 4 รูปแบบ มีการใช้พลังงานในการดำเนินงานต่างกัน จึงต้องมีการประเมินพลังงานที่ใช้ในการผลิต เพื่อให้ได้ผลประโยชน์จากการผลิตไบโอดีเซลมากที่สุด และใช้งานวิจัยของ West เป็นต้นแบบโดยมีการปรับโดยกำหนดให้สารขาเข้าและสารขาออกมีค่าสถานะเหมือนกันทั้ง 4 รูปแบบ และปรับในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้แยกกลีเซอรอลกับไบโอดีเซล เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการผลิต



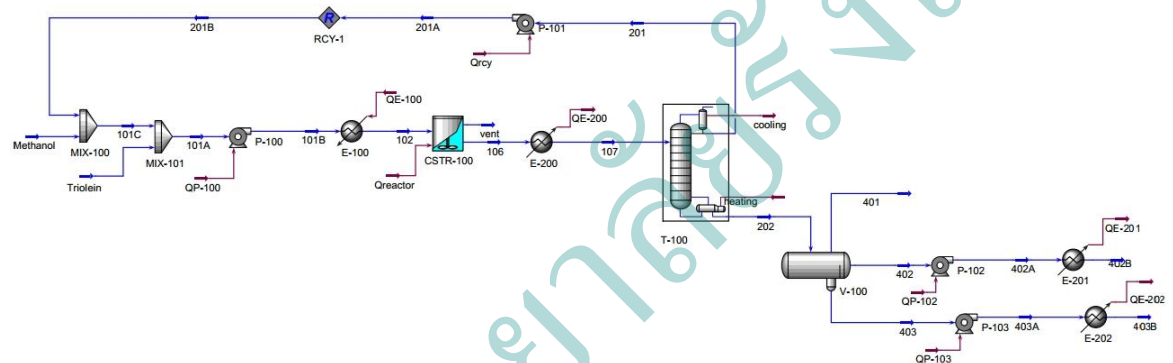
รูปที่ 2 แผนผังการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดด่าง (NaOH)



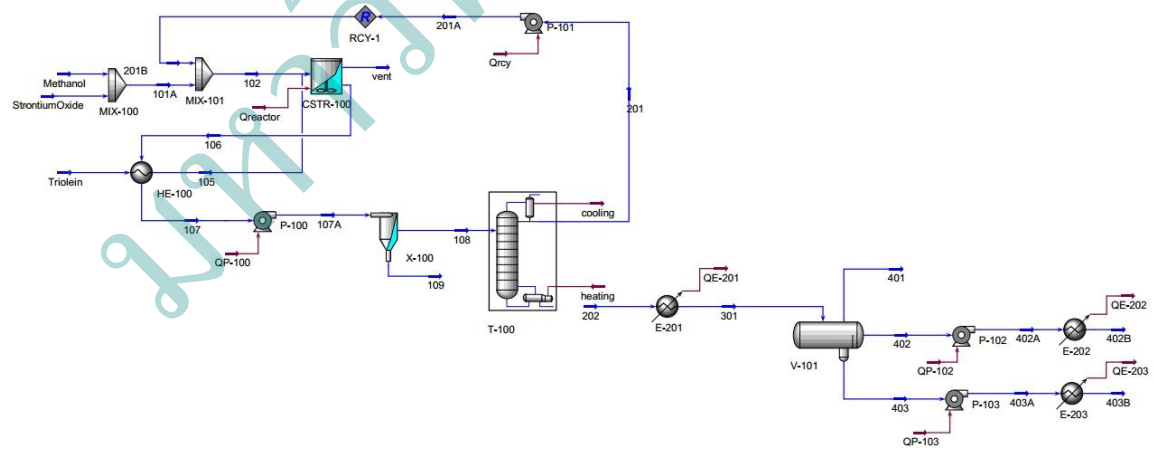
รูปที่ 3 แผนผังการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดกรด (H_2SO_4)



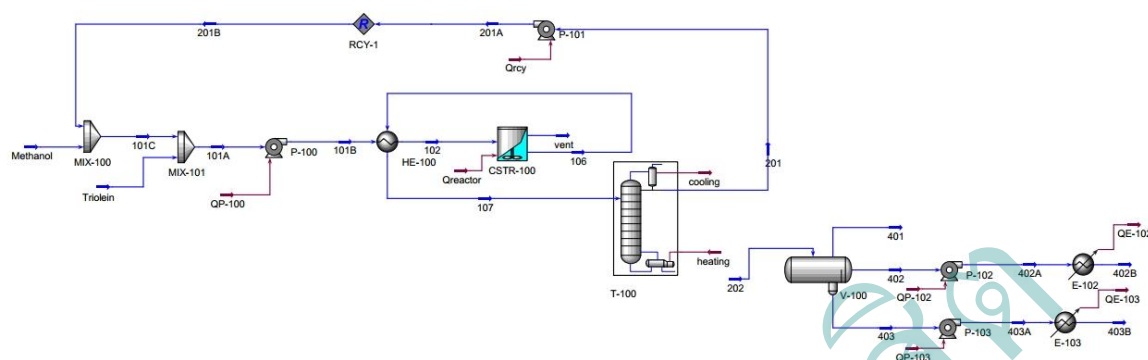
รูปที่ 4 แผนผังการผลิตไบออกไซด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวีทซ์ชนิดต่าง (SrO)



รูปที่ 5 แผนผังการผลิตไบออกไซด์โดยใช้สภาวะวิกฤต



รูปที่ 6 แผนผังการผลิตไบออกไซด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวีทซ์ชนิดต่าง (SrO) เมื่อติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 7 แผนผังการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้สถานะวิกฤตเมื่อติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

4. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

จากการศึกษาพลังงานทั้งหมดที่ใช้การผลิตไบโอดีเซลทั้ง 4 รูปแบบ โดยจำลองกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยโปรแกรม Apen HYSYS 2006 ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้อ้างอิงงานวิจัยของ Alex et al. (West, Posarac & Ellis, 2008) เป็นต้นแบบแผนผังการผลิต โดยมีการปรับโดยกำหนดให้สารขาเข้าและสารขาออกมีค่าสถานะใกล้เคียงกันมากที่สุด และปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้แยกกลีเซอรอลกับไบโอดีเซล เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการผลิต ค่าสถานะและความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละรูปแบบถูกแสดงดังตารางที่ 3

การใช้พลังงานในการผลิตไบโอดีเซลทั้ง 4 รูปแบบถูกแสดงดังตารางที่ 4 โดยค่าพลังงานที่ได้เป็น การผลิตไบโอดีเซลที่มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 1,000 กิโลกรัมไบโอดีเซลต่อชั่วโมง จากการเปรียบเทียบการผลิตทั้ง 4 รูปแบบพบว่า การโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์มีปริมาณการใช้พลังงานที่น้อยกว่า

ตารางที่ 3 ค่าสถานะและความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	Base	Acid	Hetero g.	Super cri.
Temperature (C)	25	25	25	25
Pressure (kPa)	101.3	101.3	101.3	101.3
M-Oleate				
Mass flow (kg/h)	1,006	1,006	1,006	995.5
Mole fraction	0.9769	0.9772	0.9769	0.9706
Glycerol				
Mass flow (kg/h)	101.1	101.1	101.0	108.6
Mole fraction	0.9981	0.9980	0.9979	0.9867

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ และตัวเร่งปฏิกิริยากรด และการใช้พลังงานในการผลิตโดยใช้สถานะยิ่งยวดในการผลิตมีการใช้พลังงานที่มากที่สุด เนื่องจากการปรับสภาพแอลกอฮอล์ก่อนทำปฏิกิริยาให้อยู่ในสถานะยิ่งยวดและการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ก่อนป้อนเข้าสู่หอกลั่น

ตารางที่ 4 พลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลทั้ง 4 รูปแบบ

Energy (kJ/h)	Base	Acid	Hetero g.	Supercr.
Reactor	497,100	390,400	469,200	91,600
Heating	69,080	19,300	39,040	507,100
Cooling	534,090	587,910	566,373	1,080,380
Pumps	436	86	0	512,690
Recovery of methanol (condenser)	49,350	43,750	46,460	15,720
Recovery of methanol (reboiler)	512,700	732,700	650,800	180,100
Total	1,662,75	1,774,146	1,771,873	2,387,586

6

งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลด้วยรูปแบบต่างๆ รายงานว่า การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้สภาวะยิ่งยวดนั้นมีประสิทธิภาพและประหยัดกว่ารูปแบบอื่น ในงานวิจัยผู้วิจัยได้คิดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อลดการใช้พลังงานในการผลิตได้ โดยติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในรูปแบบที่ 3 (รูปที่ 6) และรูปแบบที่ 4 (รูปที่ 7) มีค่าพลังงานรวมที่ใช้ในการผลิตเป็น 1,700,612 และ 1,371,780 kJ/h ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าการคิดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับการผลิตทั้ง 2 รูปแบบนี้ จะสามารถลดการใช้พลังงานได้มาก จะเห็นได้ว่าการผลิตโดยใช้สภาวะยิ่งยวดนั้น มีปริมาณการใช้พลังงานที่น้อยที่สุด

5. บทสรุป

จากการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการผลิตไบโอดีเซลทั้ง 4 รูปแบบ จากผลการจำลองกระบวนการพบว่า ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลมีค่า

เท่ากับ 97.7 % และความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลที่ได้มีค่าเท่ากับ 99.8 % มีการใช้พลังงานเรียงตามลำดับจากน้อยไปมากคือการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดต่าง การใช้ตัวเร่งวิวิธพันธ์ การใช้ตัวเร่งเอกพันธ์ชนิดกรด และการผลิตโดยใช้สภาวะยิ่งยวดตามลำดับ แต่ถ้าติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนการผลิตโดยใช้สภาวะยิ่งยวดจะมีการใช้พลังงานน้อยที่สุด

6. เอกสารอ้างอิง

- กันธารส จักรตอน และชงไชย ศรีนพคุณ. (2552) การจำลองการผลิตไบโอดีเซลแบบวิวิธพันธ์. วิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- น้ำค้าง คมสัน และจิตรลดา นาคประดิษฐ์. (2555). การประมาณค่าใช้จ่ายในการผลิตของโรงงานไบโอดีเซลของน้ำมันปาล์มกับเมทานอล และมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ปรีชาทิ พิมพิสัย และรัตนดา เข็นลับ. (2555). การประมาณค่าใช้จ่ายในการผลิตของโรงงานไบโอดีเซลของน้ำมันปาล์มกับเมทานอล และมีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ณัฐพร เกตุไทย และศศิประภา วังบรรณ. (2556). การประเมินการใช้พลังงานและการประมาณค่าใช้จ่ายสำหรับโรงงานผลิตไบโอดีเซลโดยใช้สตรอนเทียมออกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ปรัชญาพร ลิ้มปริงมี และจิราลักษณ์ ครองสิน. (2556). การประเมินการใช้พลังงานและการประมาณค่าใช้จ่ายสำหรับโรงงานผลิตไบโ

ดีเซลภายใต้สภาวะ Supercritical fluids. คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

Alex H. West, Dusko Posarac, Naoko Ellis.

(2008). Assessment of four biodiesel
production processes using HYSYS.Plant.
Bioresource Technology, Vol.99, (6587–
6601)

Y. Zhang, M.A. Dube, D.D. McLean, M. Kates.

(2003). Biodiesel production from waste
cooking oil: 1. Process design and
technological assessment. Bioresource
Technology, Vol. 89, (1–16)

J.M.N. van Kasteren and A.P. Nisworo. (2006).

A process model to estimate the cost of
industrial scale biodiesel production from
waste cooking oil by supercritical
transesterification. J Clean Prod. Vol.17
(143-153)

G.C.S. Santanaa, P.F. Martinsb, N. de Lima da

Silvab, C.B. Batistella, R. Maciel Filhob &
M.R. Wolf Macielb. (2009). Simulation and
cost estimate for biodiesel production using
castor oil. Chemical engineering research
and design, Vol. 88, (pp. 626–632)